

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-232142

(P2000-232142A)

(43) 公開日 平成12年8月22日 (2000.8.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テロド* (参考)
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	T
G 0 1 K 11/00		G 0 1 K 11/00	Z
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	
21/302		21/302	Z

審査請求 有 請求項の数36 O L (全 25 頁)

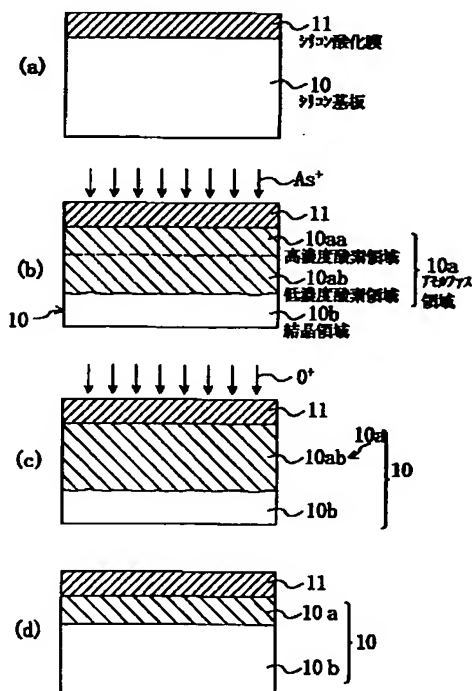
(21) 出願番号	特願平11-349875	(71) 出願人	000005843 松下電子工業株式会社 大阪府高槻市幸町1番1号
(22) 出願日	平成11年12月9日 (1999.12.9)	(72) 発明者	南部 優子 大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平10-350075	(72) 発明者	柴田 聡 大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内
(32) 優先日	平成10年12月9日 (1998.12.9)	(74) 代理人	100077931 弁理士 前田 弘 (外1名)
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 温度測定方法、温度測定用サンプルの作成方法及び半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 チャンバ内の温度、温度分布を高い精度で測定しうる温度測定方法と、温度測定に適したサンプルの作成方法とを提供する。

【解決手段】 自然酸化膜11を有するシリコン基板10にAsを注入すると、アモルファス領域10aが形成され、アモルファス領域10aは、酸素濃度が臨界値以上の高濃度酸素領域10aaと、酸素濃度が臨界値よりも低い低濃度酸素領域10abとに分かれる。その後、酸素イオンの注入を行なうと、高濃度酸素領域10aaがアモルファス領域全体に拡大される。アニールを行なうと、アモルファス領域の厚みが小さくなるのを利用して、回復レートを求める。さらに、アニール温度と回復レートとの関係を利用して、アニール温度を求める。アモルファス領域の酸素濃度を臨界値以上に調整することにより、回復レートをほぼ一定の小さな値にすることができ、温度測定の精度及び信頼性が向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の半導体領域内に形成されたアモルファス領域中に酸素をドーピングするステップ(a)と、上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、

予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含む温度測定方法。

【請求項2】 請求項1記載の温度測定方法において、上記ステップ(a)では、上記ステップ(b)における回復レートを加熱の開始時からほぼ一定にするための臨界値に達するように酸素をドーピングすることを特徴とする温度測定方法。

【請求項3】 請求項2記載の温度測定方法において、上記臨界値は、 $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ であることを特徴とする温度測定方法。

【請求項4】 請求項1～3のうちいずれか1つに記載の温度測定方法において、

上記ステップ(a)を行なう前の上記基板の半導体領域の上には酸化膜が形成されており、

上記ステップ(a)の前に、上記半導体領域に不純物のイオン注入を行なうことにより上記アモルファス領域を形成するステップをさらに含むことを特徴とする温度測定方法。

【請求項5】 請求項1～3のうちいずれか1つに記載の温度測定方法において、

上記ステップ(a)に示す工程の前に、減圧下で上記半導体領域の上の自然酸化膜を除去するステップをさらに含み、

上記ステップ(a)は、自然酸化膜を除去するステップの後、基板を大気雰囲気中にさらすことなく減圧状態で保持した状態で行なわれることを特徴とする温度測定方法。

【請求項6】 請求項1～5のうちいずれか1つに記載の温度測定方法において、

上記ステップ(b)は、分光エリプソメトリによるアモルファス領域の厚み測定を用いて行なわれることを特徴とする温度測定方法。

【請求項7】 基板の半導体領域内に、IV族元素のイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、

予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含む温度測定方法。

【請求項8】 請求項7記載の温度測定方法において、上記ステップ(a)では、ドーピング量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上の条件でGeのイオン注入を行なうことを特徴とする温度測定方法。

【請求項9】 基板の半導体領域内に、ヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素及び不活性ガス元素のうち少なくともいずれか1つのイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、

予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含む温度測定方法。

【請求項10】 基板の半導体領域の複数の箇所に、相異なる条件でイオン注入を行なって複数のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

上記複数のアモルファス領域を一定時間加熱して各アモルファス領域が再結晶化する回復レートを個別に求めるステップ(b)と、

予め準備されている上記各アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記各回復レートに対応する上記ステップ(b)における各アモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含む温度測定方法。

【請求項11】 請求項10記載の温度測定方法において、

上記ステップ(a)では、上記複数の箇所に注入するイオン種又はイオン注入条件を相異ならせることを特徴とする温度測定方法。

【請求項12】 請求項10又は11記載の温度測定方法において、

上記基板はウエハ状態のものであり、

上記ステップ(a)は、上記4つの箇所が平面的にみてウエハを上下左右4つに区画された領域となっているサンプルを用いて行なわれることを特徴とする温度測定方法。

【請求項13】 基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)と、

上記基板を、上記第1のアモルファス領域を回復させるとともに上記第2のアモルファス領域を回復させない条件で加熱して、上記第1のアモルファス領域の回復レートを求めるステップ(c)と、

予め準備されている上記第1のアモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ

(c)における第1のアモルファス領域のうちいずれか一方の温度を求めるステップ(d)とを含む温度測定方法。

【請求項14】 基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)と、

上記基板を加熱して、上記第1及び第2のアモルファス領域を回復させて、上記第1及び第2のアモルファス領域の回復レートをそれぞれ求めるステップ(c)と、予め準備されている上記第1及び第2のアモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記各回復レートに対応する上記ステップ(c)における第1及び第2のアモルファス領域の温度を求めるステップ(d)と、

上記第1及び第2のアモルファス領域の温度差から基板の熱伝導率を求めるステップ(e)とを含む温度測定方法。

【請求項15】 基板の半導体領域内に、基板温度が -10°C よりも低い条件下でイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、

予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含む温度測定方法。

【請求項16】 基板の半導体領域内に、イオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

上記アモルファス領域を $300\sim 450^{\circ}\text{C}$ の範囲の温度でアニールを行なうステップ(b)と、

上記アモルファス領域を加熱して、アモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(c)と、

予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(c)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(d)とを含む温度測定方法。

【請求項17】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

基板の半導体領域内に形成されたアモルファス領域中に、上記加熱時に回復レートを加熱の開始時からほぼ一定にするための臨界温度で酸素をドーピングすることを特徴

とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項18】 請求項17記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記臨界値は、 $3.2 \times 10^{19} \text{atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ であることを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項19】 請求項17又は18記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記酸素をドーピングする前の上記基板の半導体領域の上には酸化膜が形成されており、

10 上記酸素をドーピングする前に、上記半導体領域に上記酸化膜の上から不純物のイオン注入を行なうことにより上記アモルファス領域を形成することを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項20】 請求項17又は18記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記酸素をドーピングする前に、減圧下で上記半導体領域の上の自然酸化膜を除去してから、上記半導体領域に酸素をイオン注入するドーピングすることを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

20 【請求項21】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

基板の半導体領域内に、IV族元素のイオン注入を行なってアモルファス領域を形成することを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

30 【請求項22】 請求項21記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記イオン注入の際に、ドーピング量が $1 \times 10^{15} \text{atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上の条件でGeのイオン注入を行なうことを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項23】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

40 基板の半導体領域内に、ヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素及び不活性ガス元素のうち少なくともいずれか1つのイオン注入を行なってアモルファス領域を形成することを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項24】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

50 基板の半導体領域の複数の箇所に、異なる条件でイオ

ン注入を行なって複数のアモルファス領域を形成することを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項25】 請求項24記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記イオン注入の際に、上記複数の箇所注入するイオン種又はイオン注入条件を相異ならせることを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項26】 請求項24又は25記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記基板はウエハ状態のものであり、

上記4つの箇所は平面的にみてウエハを上下左右4つに区画された領域となっていることを特徴とする温度測定方法。

【請求項27】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

基板の上面にある第1の半導体領域にイオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

基板の裏面にある第2の半導体領域にイオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)とを含む温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項28】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用

サンプルを作成する方法であって、
基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)とを含み、

上記第1及び第2のアモルファス領域の温度を求めたときに、上記第1及び第2のアモルファス領域の温度差から基板の熱伝導率を求めることが可能なサンプルを形成することを特徴とする温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項29】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

基板の半導体領域内に、基板温度が -10°C よりも低い条件下でイオン注入を行なって上記アモルファス領域を形成することを特徴とする温度測定用サンプルの作成方

法。

【請求項30】 基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、

基板の半導体領域内に、イオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、

10 上記アモルファス領域を $300\sim 450^{\circ}\text{C}$ の範囲の温度でアニールを行なうステップ(b)とを含む温度測定用サンプルの作成方法。

【請求項31】 基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、

上記半導体領域内に、IV族元素のイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するプレアモルファス工程を含み、

上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なうことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項32】 請求項31記載の半導体装置の製造方法において、

上記イオン注入の際に、ドーズ量が $1\times 10^{15}\text{atoms}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以上の条件でGeのイオン注入を行なうことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項33】 基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、

30 上記半導体領域内に、ヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素及び不活性ガス元素のうち少なくともいずれか1つのイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するプレアモルファス工程を含み、

上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なうことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項34】 基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、

上記半導体領域内に、基板温度が -10°C よりも低い条件下でイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するプレアモルファス工程を含み、

上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なうことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項35】 基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、

上記半導体領域内に、イオン注入を行なってアモルファス領域を形成した後、上記アモルファス領域を300～450℃の範囲の温度でアニールを行なうブレアモルファス工程を含み、

上記ブレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なうことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項36】 基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、
基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するとともに、基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成しておき、
上記第1及び第2のアモルファス領域を加熱する処理の際には、上記第1及び第2のアモルファス領域の回復レートから上記第1及び第2のアモルファス領域の温度をそれぞれ求めるとともに、上記第1及び第2のアモルファス領域の温度差から基板の熱伝導率を求めて基板の各部の温度管理を行なうことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、チャンバ内の所定領域の温度、温度分布を測定するための温度測定方法、これに供するサンプルの作成方法及び温度測定方法を利用した半導体装置の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体装置の製造工程では、チャンバ内において、CVD、イオン注入、熱処理（アニール）、プラズマエッチングなどの処理が行なわれ、これらの処理により、ウエハ上への成膜、ウエハ内への不純物の導入、不純物の活性化による拡散層の形成、形成された膜のパターニング等が行なわれる。その際、これらの処理はそれぞれ定められた適正な条件下で行なわれなければならないが、その条件の1つに温度がある。特に、チャンバ内に設置されたウエハのある部位における温度やウエハ面内の温度分布などは、CVD工程や熱処理工程などを管理する上で重要なパラメータである。

【0003】そこで、従来より、製造工程における各処理の際の温度や温度分布を測定する方法として、種々の方法が採用されている。

【0004】例えば、高速加熱処理であるRTA処理を行なうためのチャンバに熱電対を取り付けたり、ウエハの裏面に熱電対を付けたもの（TCウエハ）が用いられている。また、赤外線検出などを用いた光学的測定によってチャンバ内の温度を測定する方法も知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の温度測定方法においては、以下のような不具合があった。

【0006】例えば、TCウエハを用いた温度測定においては、ウエハの裏面の温度は検出できてもウエハ上面の温度はわからない。また、温度の測定範囲にも限界があり、ある程度高温（500～600℃以上）になると、測定精度が悪化するといわれている。

【0007】また、光学的測定の場合、プラズマの影響を受けて光学的ノイズ等が発生するために正確な温度測定ができないという不具合があった。さらに、限られたポイントのみの温度値を知るだけではウエハの面内温度分布までは測定することができなかった。

【0008】特に、ウエハ面内の温度分布については、TCウエハを用いても、信頼性の高い温度分布測定を行なうことが困難であった。

【0009】本発明の第1の目的は、イオン注入されて単結晶状態からアモルファス領域になった部分のアニールによる回復の進行状態が温度依存性とイオン注入条件依存性とを有することに着目し、分光エリブソメトリなどを利用してそのアモルファス領域の厚みを測定しそれを温度に換算して温度測定を行なうとともに、この温度測定の精度の向上を図ることにある。

【0010】また、本発明者達は、分光エリブソメトリを利用して温度測定の精度の向上を図る過程において、温度測定の精度の向上のための処理とアモルファス領域の形状の改善とが互いに強い関連性を有することを発見した。そこで、本発明は、この発見に基づいて、チャネリング防止のためやシリサイド化処理の前処理の1つとして行なわれるブレアモルファス注入の条件の改善を図ることを第2の目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の温度測定方法は、基板の半導体領域内に形成されたアモルファス領域中に酸素をドーピングするステップ（a）と、上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ（b）と、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ（b）におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ（c）を含んでいる。

【0012】この方法により、酸素の濃度により、アモルファス領域を加熱した時の回復レートを調整することが可能になり、所望の温度範囲における温度測定を行なうことが可能なる。

【0013】上記ステップ（a）では、上記ステップ（b）における回復レートを加熱の開始時からほぼ一定にするための臨界値に達するように酸素をドーピングすることにより、回復レートつまり温度の測定が容易かつ信頼性の高いものとなる。

【0014】上記ステップ(a)を行なう前の上記基板の半導体領域の上には酸化膜が形成されている場合には、上記ステップ(a)の前に、上記半導体領域に不純物のイオン注入を行なうことにより上記アモルファス領域を形成するステップをさらに含むことができる。

【0015】この方法により、不純物イオンの注入によってノックオンされてアモルファス領域に侵入した酸素による悪影響を回避することが可能になる。

【0016】また、上記ステップ(a)に示す工程の前に、減圧下で上記半導体領域の上の自然酸化膜を除去するステップをさらに含み、上記ステップ(a)は、自然酸化膜を除去するステップの後、基板を大気雰囲気中にさらすことなく減圧状態で保持した状態で行なうことにより、酸素濃度をより確実に所望の値に制御することが可能になる。

【0017】上記ステップ(b)は、分光エリヤソメトリによるアモルファス領域の厚み測定を用いて行なわれることにより、インラインでの温度測定が可能になる。

【0018】本発明の第2の温度測定方法は、基板の半導体領域内に、IV族元素のイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含んでいる。

【0019】この方法により、半導体領域の導電型に影響を与えることなくアモルファス領域を形成することが可能になる。

【0020】上記ステップ(a)では、ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上の条件で例えばGeのイオン注入を行なうことにより、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との境界を明確にすることが可能になり、温度測定の精度及び信頼性が向上する。

【0021】本発明の第3の温度測定方法は、基板の半導体領域内に、ヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素及び不活性ガス元素のうち少なくともいずれか1つのイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含んでいる。

【0022】この方法により、 GeF_4 のような腐食性のガスを用いることなく、メンテナンス周期の延長と装置台数の低減につながる温度測定の精度及び信頼性の向上を図ることができる。

【0023】本発明の第4の温度測定方法は、基板の半

導体領域の複数の箇所に、相異なる条件でイオン注入を行なって複数のアモルファス領域を形成するステップ

(a)と、上記複数のアモルファス領域を一定時間加熱して各アモルファス領域が再結晶化する回復レートを個別に求めるステップ(b)と、予め準備されている上記各アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記各回復レートに対応する上記ステップ(b)における各アモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含んでいる。

【0024】この方法により、高い信頼性での温度測定範囲が互いに異なる複数のアモルファス領域を利用して、温度測定の可能な範囲を拡大することができ、特に温度が不明なときにもその温度を検出することができる。

【0025】上記ステップ(a)では、上記複数の箇所に注入するイオン種又はイオン注入条件を相異ならせることが好ましい。

【0026】上記基板をウエハ状態のものとして、上記ステップ(a)を、上記4つの箇所が平面的にみてウエハを上下左右4つに区画された領域となっているサンプルを用いて行なうことにより、ある工程における温度が不明の時に、4つの箇所における回復レートのデータから明らかになった温度の付近について、その後、ウエハ全体に1種のイオン注入のみを行なって詳細な温度分布などの測定を行なうことが可能となる。

【0027】本発明の第5の温度測定方法は、基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)と、上記基板を、上記第1のアモルファス領域を回復させるとともに上記第2のアモルファス領域を回復させない条件で加熱して、上記第1のアモルファス領域の回復レートを求めるステップ(c)と、予め準備されている上記第1のアモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(c)における第1のアモルファス領域の温度を求めるステップ(d)とを含んでいる。

【0028】この方法により、第1のアモルファス領域の温度を測定した後、第2のアモルファス領域が回復する条件で基板を加熱すれば、1つの基板を用いて2つの温度領域における温度の測定が可能になる。特に、大口径化ウエハを用いる場合には、ウエハの厚みが厚くなるので、ウエハの上面の第1のアモルファス領域が回復する温度に加熱されても、裏面がその温度に達しない場合もあり、この温度測定方法により測定用サンプル数を低減することができる。

【0029】本発明の第6の温度測定方法は、基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、基

板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)と、上記基板を加熱して、上記第1及び第2のアモルファス領域を回復させて、上記第1及び第2のアモルファス領域の回復レートをそれぞれ求めるステップ(c)と、予め準備されている上記第1及び第2のアモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記各回復レートに対応する上記ステップ(c)における第1及び第2のアモルファス領域の温度を求めるステップ(d)と、上記第1及び第2のアモルファス領域の温度差から基板の熱伝導率を求めるステップ(e)とを含んでいる。

【0030】この方法により、基板の熱伝導率がわかることから、基板の各部位における温度管理を行なうことができ、歩留まりの向上と製品デバイスの品質の向上に供することができる。特に、ウエハが大口径化されると、ウエハの厚みが厚くなることから、熱伝導率を知ることにより工程管理を適正に行なうことができる。

【0031】本発明の第7の温度測定方法は、基板の半導体領域内に、基板温度が -10°C よりも低い条件下でイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、上記アモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(b)と、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(b)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(c)とを含んでいる。

【0032】この方法により、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との間に明確な境界が存在する状態あるいは界面の凹凸が小さい状態で温度測定を行なうことが可能になり、温度測定の精度及び信頼性が向上する。

【0033】本発明の第8の温度測定方法は、基板の半導体領域内に、イオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、上記アモルファス領域を $300\sim 450^{\circ}\text{C}$ の範囲の温度でアニールを行なうステップ(b)と、上記アモルファス領域を加熱して、アモルファス領域が再結晶化する回復レートを求めるステップ(c)と、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記ステップ(c)におけるアモルファス領域の温度を求めるステップ(d)とを含んでいる。

【0034】この方法により、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との間に明確な境界が存在する状態あるいは界面の凹凸が小さい状態で温度測定を行なうことが可能になり、温度測定の精度及び信頼性が向上する。

【0035】本発明の第1の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め

準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、基板の半導体領域内に形成されたアモルファス領域中に、上記加熱時に回復レートを加熱の開始時からほぼ一定にするための臨界濃度で酸素をドーピングする方法である。

【0036】この方法により、安定したアモルファス領域の回復レートを利用して、精度及び信頼性の高い温度測定を行なうことが可能なサンプルを作成することができる。

【0037】上記酸素をドーピングする前の上記基板の半導体領域の上に酸化膜が形成されている場合には、上記酸素をドーピングする前に、上記半導体領域に上記酸化膜の上から不純物のイオン注入を行なうことにより上記アモルファス領域を形成することができる。

【0038】この方法により、ノックオンされてアモルファス領域に侵入した酸素による悪影響を除きつつ、温度測定が可能なサンプルを作成することができる。

【0039】上記酸素をドーピングする前に、減圧下で上記半導体領域の上の自然酸化膜を除去してから、上記半導体領域に酸素をイオン注入するドーピングすることにより、酸素濃度がより正確に調整された温度特定用サンプルが得られる。

【0040】本発明の第2の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、基板の半導体領域内に、IV族元素のイオン注入を行なってアモルファス領域を形成する方法である。

【0041】この方法により、半導体領域の導電型に影響を与えることなくサンプルを形成することができる。

【0042】上記イオン注入の際に、ドーピング量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上の条件でGeのイオン注入を行なうことにより、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との境界を明確にし、あるいは界面の凹凸を小さくすることができ、精度及び信頼性の高い温度測定を行なうことが可能なサンプルを作成することができる。

【0043】本発明の第3の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、基板の半導体領域内に、ヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素及び不活性ガス元

素のうち少なくとも1つのイオン注入を行なってアモルファス領域を形成する方法である。

【0044】この方法により、上記第2の温度測定用サンプルの作成方法と同じ効果を発揮することができる。

【0045】本発明の第4の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプル 10 を作成する方法であって、基板の半導体領域の複数の箇所に、相異なる条件でイオン注入を行なって複数のアモルファス領域を形成する方法である。

【0046】この方法により、上述のように広い温度範囲で温度測定が可能なサンプルを作成することができる。

【0047】上記イオン注入の際に、上記複数の箇所に注入するイオン種を相異ならせることが好ましい。

【0048】また、上記基板をウェハ状態のものととして、上記4つの箇所を平面的にみてウェハを上下左右4 20 つに区画された領域とすることができる。

【0049】本発明の第5の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、基板の上面にある第1の半導体領域にイオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、基板の裏面にある第2の半導体領域にイオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)とを含んでいる。 30

【0050】この方法により、上述的作用により、2回の温度測定が可能なサンプルを作成することができる。

【0051】本発明の第6の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプル 40 を作成する方法であって、基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成するステップ(a)と、基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成するステップ(b)とを含み、上記第1及び第2のアモルファス領域の温度を求めたときに、上記第1及び第2のアモルファス領域の温度差から基板の熱伝導率を求めることが可能なサンプルを形成する方法である。

【0052】この方法により、特にウェハの大口径化に 50

伴う厚みの増大時に重要となる、製造工程における歩留まり向上などのための温度管理に供しうるサンプルが得られる。

【0053】本発明の第7の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、基板の半導体領域内に、基板温度が-10℃よりも低い条件下でイオン注入を行なって上記アモルファス領域を形成する方法である。

【0054】この方法により、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との間に明確な境界が存在する状態あるいは界面の凹凸が小さい状態にすることができ、精度及び信頼性の高い温度測定を行なうことが可能なサンプルを作成することができる。

【0055】本発明の第8の温度測定用サンプルの作成方法は、基板のアモルファス領域を一定時間加熱してアモルファス領域が再結晶化する回復レートを求め、予め準備されている上記アモルファス領域の回復レートと加熱温度との関係に基づいて、上記加熱時におけるアモルファス領域の温度を測定するための温度測定用サンプルを作成する方法であって、基板の半導体領域内に、イオン注入を行なってアモルファス領域を形成するステップ(a)と、上記アモルファス領域を300~450℃の範囲の温度でアニールを行なうステップ(b)とを含んでいる。

【0056】この方法により、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との間に明確な境界が存在する状態あるいは界面の凹凸が小さい状態にすることができ、精度及び信頼性の高い温度測定を行なうことが可能なサンプルを作成することができる。

【0057】本発明の第1の半導体装置の製造方法は、基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、上記半導体領域内に、IV族元素のイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するプレアモルファス工程を含み、上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なう方法である。

【0058】この方法により、半導体領域の導電型に影響を与えることなくアモルファス領域を形成してから、ボロン注入工程又はシリサイド化工程が行なわれるので、チャネリングの防止による浅い拡散層の形成や、平坦性のよいシリサイド層などを形成することが可能になる。

【0059】イオン注入の際に、ドーズ量が 1×10^{15} atoms \cdot cm $^{-2}$ 以上の条件でGeのイオン注入を行なう

ことができる。

【0060】本発明の第2の半導体装置の製造方法は、基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、上記半導体領域内に、ヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素及び不活性ガス元素のうち少なくともいずれか1つのイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するプレアモルファス工程を含み、上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なう方法である。

【0061】この方法により、腐食性のGeF₄ガスを用いなくても、チャネリングの防止による浅い拡散層の形成や、平坦性のよいシリサイド層などを形成することが可能になる。

【0062】本発明の第3の半導体装置の製造方法は、基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、上記半導体領域内に、基板温度が-10℃よりも低い条件下でイオン注入を行なってアモルファス領域を形成するプレアモルファス工程を含み、上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なう方法である。

【0063】この方法により、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との間に明確な境界が存在する状態で、イオン注入工程やシリサイド化工程が行なわれるので、チャネリングの防止による浅い拡散層の形成や、平坦性のよいシリサイド層などを形成することが可能になる。

【0064】本発明の第4の半導体装置の製造方法は、基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、上記半導体領域内に、イオン注入を行なってアモルファス領域を形成した後、上記アモルファス領域を300～450℃の範囲の温度でアニールを行なうプレアモルファス工程を含み、上記プレアモルファス工程の後に、上記アモルファス領域にボロンのイオン注入を行なう工程、又は上記アモルファス領域をシリサイド化する工程のうち少なくともいずれか一方の工程を行なう方法である。

【0065】この方法により、半導体領域におけるアモルファス領域と結晶領域との間に明確な境界が存在する状態で、イオン注入工程やシリサイド化工程が行なわれるので、チャネリングの防止による浅い拡散層の形成や、平坦性のよいシリサイド層などを形成することが可能になる。

【0066】本発明の第5の半導体装置の製造方法は、基板の半導体領域に半導体装置を製造するための製造方法であって、基板の上面にある第1の半導体領域に、イオン注入を行なって第1のアモルファス領域を形成する

とともに、基板の裏面にある第2の半導体領域に、上記イオン注入を行なって第2のアモルファス領域を形成しておき、上記第1及び第2のアモルファス領域を加熱する処理の際には、上記第1及び第2のアモルファス領域の回復レートから上記第1及び第2のアモルファス領域の温度をそれぞれ求めるとともに、上記第1及び第2のアモルファス領域の温度差から基板の熱伝導率を求めて基板の各部の温度管理を行なう方法である。

【0067】この方法により、各種工程における温度管理を厳密に行なうことが可能となり、大口径化に伴うウエハ厚みと温度との関係なども把握できるので、製造歩留まりの向上と品質の高い半導体装置の製造とを図ることができる。

【0068】

【発明の実施の形態】—アモルファス領域の回復レートを利用した温度測定の実験—

本発明者達は、国際出願PCT/JP98/02567(国際公開番号WO98/57146)に記載されているように、分光エリプソメトリ法によって、不純物イオンが注入されてアモルファス化された半導体領域(アモルファス領域)がアニールによって回復する過程を評価し、アモルファス領域の厚みをインラインで非破壊の検査によって検出できることや、アモルファス領域の膜厚の単位時間当たりの減少量である回復レートがアニール温度に依存することから、回復レートを求めることによってウエハ表面(ウエハの上面及び裏面の双方をいう)の実際の温度や温度分布を検出しうることを見いだした。つまり、分光エリプソメトリ法により、インラインで非破壊の検査によって、ウエハ表面の温度を評価できることを実証している。

【0069】さらに、本発明者達は、国際出願PCT/JP98/02567に記載されている技術を前提としつつ、温度測定の精度の向上を図るためには、アモルファス領域中の酸素濃度、上述したノックオンにより打ち込まれる酸素をなくすことも含めて適正に調整することが有効であることを、以下のような実験から突きとめた。ただし、本発明による温度測定の精度向上に際しては、必ずしも分光エリプソメトリによるアモルファス領域の厚み測定を利用する必要はなく、TEM観察による破壊検査など、他の方法を含むすべてのアモルファス領域の厚み測定法を利用することができる。

【0070】図1は、シリコン基板内にヒ素イオン(As⁺)を、室温で、加速電圧30KeV、ドーズ量4×10¹⁵cm⁻²の条件で注入して形成されたアモルファス領域を550℃でアニールした時のアモルファス領域の厚みの時間変化つまり回復レートを示す図である。図1において、横軸はアニール時間(sec)を表し、縦軸はアモルファス領域の厚みを表している。このサンプルにおいては、TEM観察の結果から、アモルファス領域の厚みが55nmであることが確認されている。そし

て、アニールによるアモルファス領域の回復レートは厚みの単位時間当たりの減少量 (nm/min) であるので、図1に示す変化直線の傾きが回復レートを表している。図1に示すように、アモルファス領域の厚みが初期値55 nmから28 nmまで減小するときの回復レートは46.0 (nm/min) であり、アモルファス領域の厚みが28 nmから0 nmに向かって減小するときの回復レートは2.8 (nm/min) であることがわかった。

【0071】ここで、このようにある時点を境に回復レートが急激に変化することに対して酸素の存在が関与していることが疑われたので、このときのシリコン基板内の酸素濃度プロファイルを測定した。

【0072】図2は、as-implantedのシリコン基板におけるヒ素 (As) と酸素 (O) との基板深さ方向における濃度プロファイルを示す図である。同図に示すように、本来均一なはずの酸素濃度がシリコン基板の上面付近で $1 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ に近いピーク値となり、シリコン基板の深さ方向に向かって次第に減小していることがわかる。そして、もともとウエハ中では約 $2.0 \times 10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ の酸素しか含まれていないことを考慮すると、図2に示すような高濃度の酸素が存在するのは、ヒ素イオンの注入によってノックオンされた酸素原子がシリコン基板中に侵入したためと考えられる。つまり、ヒ素イオンの注入に際し、シリコン基板の表面は RCA 洗浄などによって清浄化されるが、この RCA 洗浄の後に大気にさらされることにより、シリコン基板の表面に自然酸化膜が形成されており、この自然酸化膜中の酸素がヒ素イオンによってノックオンされたものと考えられる。そして、回復レートが変化する位置 (アモルファス領域の厚みが28 nmである位置) の酸素濃度は、約 $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ であった。

【0073】そこで、図3に示すように、さらに酸素濃度と回復レートとの関連性を調べるために、酸素の注入量を増やして回復レートを測定した。図3において、横軸はアニール時間 (sec) を表し、縦軸はアモルファス領域の厚みを表している。ここでは、加速電圧30 keV、ドーズ量 $4 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で As のイオン注入のみを施したサンプル (□印で示すデータ) と、As のイオン注入に加えて、加速電圧20 keV、ドーズ量 $1 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で酸素のイオン注入を行なったサンプル (△印で示すデータ) と、As のイオン注入に加えて、加速電圧20 keV、ドーズ量 $2 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で酸素のイオン注入を行なったサンプル (○印で示すデータ) についての測定結果を示している。このとき、同図に示すように、アモルファス領域にフラッシュアニール (ピーク温度における保持時間がほぼ0となる温度の時間変化によるアニール) を施すと、酸素濃度が多くなるほど回復レートが遅くなることがわかった。また、この3種類の

サンプルのいずれにおいても、回復レートはアモルファス領域の厚みのある値 (図1に示す厚み28 nm) を境に変化しており、そのアモルファス領域の厚みに相当する部位の酸素濃度は、いずれも $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ に近い値であることがわかった。

【0074】ここで、図3に示すように、酸素濃度が多くなるにつれて、フラッシュアニールによる回復レートの傾きが次第に小さくなることから、最終的には回復レートが変化する部位 (図1に示す厚み28 nmの値) が上方に移動して、アニール時間0の位置に達することが予想される。つまり、回復レートが変化する酸素濃度 $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ の位置が図1に示す厚み55 nmの位置にあればよいことになる。言い換えると、アモルファス領域の全領域に濃度 $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上の酸素がドーパされていると、回復レートが均一でかつ小さくなると推定された。

【0075】そして、このようにアニール時の回復レートを小さくできることは、アモルファス領域の回復量の変化に対するアニール時間の誤差の影響を小さくできることになるので、温度測定の精度が向上することになる。以下、この推定を裏付けるための第1の実施形態について説明する。

【0076】(第1の実施形態) 図4(a)～(d) は、本発明の第1の実施形態における温度測定のためのアニール処理の手順を示す断面図である。また、図5は、アニール及び温度測定の手順を示すフローチャート図である。以下、図4(a)～(d) を参照しながら図5のフローチャートに沿って、本実施形態におけるアニール処理の手順について説明する。

【0077】まず、ステップST11で、シリコン基板10にRCA洗浄を施す。この洗浄により、図4(a)に示すように、シリコン基板10の表面は清浄化されるが、シリコン基板10の表面には、厚みが約1 nmの自然酸化膜であるシリコン酸化膜11が形成される。

【0078】次に、ステップST12で、シリコン酸化膜11の上からヒ素イオン (As⁺) を、室温で加速電圧30 KeV、ドーズ量 $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の条件で注入する。このイオン注入によって、図4(b)に示すように、シリコン基板10は、図4(b)に示す断面において、ヒ素イオンの注入によって結晶性が乱れたアモルファス領域10aと、アモルファス領域10aの下方においてヒ素イオンの注入による影響を受けずに結晶性を保ったままの結晶領域10bとに分かれる。このとき、上述のように、ヒ素イオンの注入に伴い、シリコン酸化膜中の酸素がヒ素イオンによってノックオンされ、基板内に導入される。そして、ノックオンされた酸素の濃度は下方に向かうほど低減する。この酸素濃度については、上述のように、アニール時の回復レートが変化する臨界値 ($3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$) が存在することがわかっている。したがって、この状態においては、アモ

ルファス領域10aは、シリコン酸化膜11直下方にあって臨界値以上の比較的高濃度の酸素を含む高濃度酸素領域10aaと、その直下方にあって臨界値未満の比較的低濃度の酸素を含む低濃度酸素領域10abとに区画される。

【0079】次に、ステップST13で、図4(b)に示す低濃度酸素領域10ab(シリコン基板10の上面からの深さ位置が28nm~55nmである領域)の酸素濃度を臨界値($3.2 \times 10^{19} \text{atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$)以上にするために、酸素イオンの注入を行う。このとき、酸素イオンの注入条件は、例えば、室温で、加速電圧20KeV、ドーズ量 $2 \times 10^{14} \text{atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上である。この酸素イオンの注入により、図4(c)に示すように、高濃度酸素領域10aaがアモルファス領域10a全体に拡大される。

【0080】次に、ステップST14で、温度Tでのアニールを行なう。これにより、図4(d)に示すように、アモルファス領域10aのうち結晶領域10bとの間の界面から再結晶化が進行していき、シリコン基板10内においてアモルファス領域10aの厚みが小さくなり、結晶領域10bが上方に拡大することになる。

【0081】次に、ステップST15で、分光エリプソメトリ装置を用いて、一定のアニール時間内におけるアモルファス領域10aの厚みの変化を検出し、この厚みの変化をアニール時間で割った値である回復レートを求める。

【0082】図6は、このときのアモルファス領域10aの結晶への回復レートを示す図である。同図において、横軸はアニール時間(秒)を表し、縦軸はアモルファスの厚み(nm)を表している。アモルファス領域10aの厚みは、後述する分光エリプソメトリ装置を使用して測定している。同図に示すように、アニール時間の経過に対するアモルファス領域の厚みはほぼ直線的に減少しており、その傾きから、回復レートは約 $2.8 \text{nm}/\text{min}$ であった。このデータは、図1に示すサンプルと同じ条件でAsのイオン注入を行なった後、さらに酸素濃度を高めるための酸素のイオン注入を行なってから、図1に示すデータを得た条件と同じ550℃でアニールを行なって得られたものである。したがって、アモルファス領域の酸素濃度をある臨界値以上に調整することにより、アニール時におけるアモルファス領域の回復レートをほぼ一定の小さな値にすることができる。

【0083】次に、ステップST16で、予め得られている回復レートとアニール温度Tとの関係を参照して、ステップST15で求められた回復レートからアニール温度Tを決定する。このとき、アニール温度Tを決定するためには、予め回復レートのアニール温度依存性つまり回復レートとアニール温度Tとの関係がわかっている必要はない。そこで、ステップST15、16における回復レートの算出とアニール温度Tの決定について

て、詳細に説明する。

【0084】図7は、アニール温度Tと回復レートとの関係から温度を決定する手順を示すフローチャートである。図8は、文献1(J. Appl. Phys., Vol. 48, No. 10, October 1977)に記載されている回復レートとアニール温度Tとの関係を示すデータに、高濃度の酸素が導入されたシリコン基板における回復レートとアニール温度Tとの関係を加えて示す図である。以下、図7のフローチャートに沿って温度決定までの手順を説明する。

【0085】まず、ステップST21で、温度と回復レートとの関係を求めるためのサンプルを準備する。このサンプルには、図4(c)に示すように、アモルファス領域全体に、 $3.2 \times 10^{19} \text{atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上の濃度で酸素が導入されている。

【0086】次に、ステップST22で、温度と回復レートとの関係を導く。この方法については、国際出願PCT/JP98/02567において開示されている本発明者達が発明した方法を採用する。すなわち、分光エリプソメトリを利用して、 $\cos \Delta$ などの形状から、あるいはさらに加速電圧、イオン注入量を考慮して、アモルファス領域の厚みを決定する。回復レートは、所定時間t分にサンプルのアモルファス領域が結晶になった厚みLnmから、回復レート(L/t)(nm/min)が算出できる。そして、横軸を温度とし縦軸を回復レート(対数目盛)とするグラフの上で、種々のアニール温度における回復レートをプロットすることにより、図8に示す直線K₀を作成する。また、式 $T = f \{ (L/t) \}$ にこの関係を当てはめることにより、アニール温度を変数とする回復レートの関数を表す関係式を作成することもできる。

【0087】図8に示す他の直線は、同文献中に記載されている各種サンプルについてのデータである。同図の直線K_aはシリコン基板にリン(P)を注入してアモルファス領域を形成した後にボロン(B)を注入したものであり、直線K_bはシリコン基板にヒ素(As)を注入してアモルファス領域を形成したものであり、直線K_cはシリコン基板にシリコンを注入してアモルファス領域を形成したものである。そこで、すでに上述の文献に係る実験で得られている図8中の直線関係を利用して、図8に示す直線K₀を描くこともできる。例えば、図6に示すデータから、550℃、 $2.8 \text{nm}/\text{min}$ の点を記入し、直線K_b、K_cに平行な直線を描くことによって、直線K₀を容易に得ることができる。

【0088】次に、ステップST23で、実際のウエハ上面の温度測定(温度値又は温度分布)を行なうためのサンプルを準備する。ここで、本明細書(特許請求の範囲を含む)においては、「温度測定」とは、温度値、温度分布の測定のうち少なくともいずれか一方を含むものとする。このサンプルは、図4(c)に示す構造を有するものである。そして、ステップST24で、図8に示

す直線K₀を利用して、上述のようなエアゾメトリ測定を利用した回復レートの算出を行ない、直線K₀中の回復レート値に対応するアニール温度を決定する。例えば、直線K₀を利用すると、回復レートの値が20 nm/minのときには、図8に示すように、アニール温度Tは約610℃となることがわかる。

【0089】本実施形態によると、酸素を高濃度に含ませたアモルファス領域（イオン注入領域）を有するサンプルを用いて、ウエハ上面の温度を測定することができる。特に、図8に示すように、従来のデータ（直線K_a、K_b、K_c）を利用して温度測定を行なう場合には、直線K_cを利用しても600℃以上の温度を測定することは困難である。それに対し、本実施形態の方法によると、直線K₀を利用することにより、650℃付近までの高温における温度測定が可能になる。ただし、信頼性の高いデータを得るには、直線K_cでは575℃付近、直線K₀では610℃付近が限界である。しかも、回復レートが小さいほど測定精度（信頼性）が高くなるので、同じ温度（例えば550℃）における測定精度を比較すると、直線K_cを利用するよりも直線K₀を利用する方が測定精度が高くなることがわかる。一般的には、回復レートが100 nm/min以下であれば、回復レートの算出に誤差は少なく、正確な温度が算出できることになる。この理由で、高温まで温度を正確に測定するためには、サンプルの回復レートは小さい方が好ましい。

【0090】本実施形態において説明した温度測定方法は、温度評価用サンプルウエハ内に高濃度の酸素を導入した領域を設けておいて実施してもよく、あるいは、製品ウエハに高濃度の酸素が注入された温度測定用モニター領域を設けておいて実施することもできる。

【0091】また、第1の実施形態においては、酸素濃度を臨界値 $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上としたが、この臨界値よりも低濃度の酸素をアモルファス領域全体に導入して、温度測定を行なってもよい。図3のデータからわかるように、酸素の導入量を種々変更したサンプルにおいて、初期のフラッシュアニールにおける回復が終了した後は、各アニール温度に特有の回復レートでアモルファス領域が回復する。臨界値よりも低濃度の酸素を含むサンプルについては、アニール温度と回復レートとの関係を表す直線として、図8に示す直線K₀よりも右方にずれた直線が得られる。図8からわかるように、回復レートが小さいほど温度測定の精度は高くなるが、反面、あまりに回復レートが小さいと測定時間が長くなるなどの不具合も生じる。また、酸素を注入したモニター領域をウエハ上に形成しておいて、インラインでの測定を行なう場合には、その処理に適合した温度、アニール時間を考慮する必要がある。したがって、酸素濃度を種々変えることにより、もっとも有利な回復レートを選択できる利点がある。

【0092】また、第1の実施形態においては、酸素濃度が $3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上となるアモルファス領域を形成するために、Asイオンによる酸素のノックオン注入と酸素のイオン注入との組み合わせを用いているが、必ずしもこの組み合わせでなくてもよく、酸素イオンの注入だけであってもよい。その場合、例えばクラスタリングされた製造装置を用い、装置内のあるチャンバで例えば真空中での熱処理などによって自然酸化膜を除去した後、別のチャンバ内で酸素イオンの注入を行なうことにより、ノックオンされた酸素がない状態を実現することができるので、酸素の濃度をより確実に制御することができるという利点がある。

【0093】（第2の実施形態）次に、第2の実施形態に係る温度分布測定方法について説明する。ここでは、基本的には第1の実施形態における方法を利用して、熱CVD装置の内部の温度分布を測定する。

【0094】まず、予め図8に示すような直線によって表される回復レートとアニール温度との関係を各種のイオン注入条件について求めておく。例えば、図7におけるステップST21、ST22の手順によって、図8に示す直線K₀などを求めておき、その後、温度評価用サンプルウエハについて実際の温度を測定しようとする複数の箇所について、同じ条件で酸素を注入したサンプルウエハを作成する。このとき、サンプルウエハの作成は、図4(a)～(c)に示す工程を複数の測定部位について行なえばよい。つまり、ノックオン効果により酸素を注入し、さらに酸素のイオン注入との2つの注入工程により臨界値 $(3.2 \times 10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3})$ 以上の酸素を含むアモルファス領域を有しているサンプルウエハを用意する。このサンプルウエハを用いて熱CVD装置内の使用時における温度を以下のようにして測定してみる。

【0095】このサンプルウエハを、たとえばシリコン酸化膜を堆積するための熱CVD装置内で、実際に製品ウエハが設置される場所にセットする。そして、この熱CVD装置中で、シリコン酸化膜を堆積するのと同じ温度条件で所定時間 t (min)の間サンプルウエハを保持する。所定時間 t (min)が経過する間にサンプルウエハ中のアモルファス領域が再結晶化した厚み L (nm)から、回復レート (L/t) が算出できる。そして、サンプルウエハについて、図8の直線K₀にサンプルウエハ中の各部位の回復レート (L/t) をあてはめると、熱CVD装置内の各部位の正確な温度つまり温度分布を測定することができる。この温度分布のデータは、国際出願PCT/JP98/02567中の図23に示すようなデータとして作成される。また、ウエハ内の温度分布を測定しておくことにより、ウエハの各部位から切り出されるシリコンチップの歩留まりとCVD温度との関係を把握することもできる。

【0096】なお、熱CVD装置等の内部のある代表的

な部位の温度のみを測定することができることはいうまでもない。その場合、熱CVD装置に付設されている温度制御部に表示される設定温度が T_0 であっても、実際の温度が T であれば、この温度差 $\Delta T (=T-T_0)$ がこの熱CVD装置の誤差である。したがって、実際のCVD工程においては、この誤差を補正して工程管理を行なうことができる。

【0097】また、熱CVD装置等の各種装置内の任意の位置、例えば、ウエハ設置部以外のガス導入部、排気部等にこのサンプルを設置することにより、装置内部の10 所望の位置での温度を正確に測定することができる。

【0098】なお、本実施形態では、アモルファス領域の形成にAsのイオン注入を用いたが、As以外に、シリコン、リンのイオン注入を用いてもよい。

【0099】(第3の実施形態)次に、ウエハ内に回復レートを各種調整した領域を設けることによって、温度測定が可能な範囲を拡大した評価サンプルに係る第3の実施形態について説明する。

【0100】図9は、ヒ素(As)のみを注入した場合とヒ素(As)及びボロン(B)を注入した場合とにおける回復レートを比較したデータを示す図である。同図の横軸は、ウエハ内の測定箇所(49ポイント)を表し、縦軸はアモルファス領域の回復レートを表している。サンプルウエハとして、ヒ素(As)を加速電圧30keV、ドーズ量 $3 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入してアモルファス領域を形成したもの(図中△で示すデータ)と、ヒ素(As)を加速電圧30keV、ドーズ量 $3 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入してアモルファス領域を形成した後、さらに、当該アモルファス領域にボロン(B)を加速電圧8keV、ドーズ量 $3 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入したもの(図中○で示すデータ)とを準備して、回復レートを測定している。酸素のイオン注入は行っていない。このデータから、以下のことがわかる。

【0101】同図に示されるように、各測定ポイントにおける平均値を比較すると、ヒ素(As)のみを注入したアモルファス領域の方が、ヒ素(As)とボロン(B)とを注入したアモルファス領域よりも回復レートが小さい。したがって、回復レートの調整は、第1の実施形態のごとく酸素のイオン注入の濃度調整によるだけでなく、イオン種の変更・組み合わせによっても行なうことができることがわかる。そして、回復レートが調整できることは、現実的な条件で信頼性のある温度測定が可能な範囲を調整することができることを意味するので、このような注入イオン種を各種組み合わせることにより温度測定範囲を適宜調整できることになる。

【0102】図10は、Ge注入によって形成されたアモルファス領域と、As注入によって形成されたアモルファス領域との回復レートの差を示す図である。注入条件は、いずれも加速電圧が30keVで、ドーズ量が3

$\times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ である。また、アニール温度は550℃である。同図に示されるように、Geの回復レートは、Asの回復レートよりも小さいので、Geの注入によって形成されたアモルファス領域を、Asの注入によって形成されたアモルファス領域よりも高温の温度測定用に供することができる。

【0103】図11(a)、(b)は、互いに異なる回復レートを有する4つのアモルファス領域を有する評価用サンプルウエハを形成する2つ方法を示す平面図である。1つの方法の場合、図11(a)に示すように、ウエハ内には n 箇所の温度測定用領域 R_1, R_2, \dots, R_n が設けられており、各温度測定用領域 R_1, R_2, \dots, R_n には、図9に示す○印のデータに対応するヒ素(As)とボロン(B)とを注入した第1アモルファス領域 $R_{11}, R_{21}, \dots, R_{n1}$ と、図9に示す△印のデータに対応するヒ素(As)のみを注入した第2アモルファス領域 $R_{12}, R_{22}, \dots, R_{n2}$ と、図10において説明したゲルマニウム(Ge)をドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ で注入した第3アモルファス領域 $R_{13}, R_{23}, \dots, R_{n3}$ と、第1の実施形態において説明したヒ素(As)及び臨界値以上の濃度の酸素(O)を注入した第4アモルファス領域 $R_{14}, R_{24}, \dots, R_{n4}$ とが設けられている。もう1つの方法では、図11(b)に示すように、ウエハが4分割されて、図9に示す○印のデータに対応するヒ素(As)とボロン(B)とを注入した第1アモルファス領域 R_a と、図9に示す△印のデータに対応するヒ素(As)のみを注入した第2アモルファス領域 R_b と、図10において説明したゲルマニウム(Ge)をドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ で注入した第3アモルファス領域 R_c と、第1の実施形態において説明したヒ素(As)及び臨界値以上の濃度の酸素(O)を注入した第4アモルファス領域 R_d とが設けられている。

【0104】図12は、図11(a)又は(b)に示す評価用サンプルウエハを用いた場合の各アモルファス領域の温度測定可能範囲を示す図である。回復レートが小さいと適正な温度測定範囲が高温側に移行し、回復レートが大きいと適正な温度測定範囲が低温側に移行する。この例の場合、信頼性を確保できる現実的な温度測定範囲は、第1アモルファス領域 R_1 では420℃～525℃であり、第2アモルファス領域 R_2 では480℃～580℃であり、第3アモルファス領域 R_3 では540℃～625℃であり、第4アモルファス領域 R_4 では575℃～650℃である。このように、4種類の温度測定範囲を有する第1～第4アモルファス領域を1つの評価用サンプルウエハに設けることによって、420℃～650℃の範囲の温度を測定することができる。

【0105】また、図11(a)に示すサンプルウエハを用いた場合には、各々第1～第4アモルファス領域を有する多数の温度測定用領域 R_1, R_2, \dots, R_n をウ

ウエハ上に設けることによって、ウエハの面内温度分布を広い温度範囲で測定できることになる。

【0106】図11(b)に示すサンプルウエハを用いた場合には、ある工程における温度が不明なときに、当初大まかな温度を把握してから、再度温度測定を行なって正確な温度分布などを把握することが可能になる。例えば、まず、このサンプルウエハを用いて温度測定を行なった結果、第1アモルファス領域Raのみが回復したとする。そのとき、図12から温度範囲が425℃～520℃であることが把握できるので、ウエハ全面を第1

アモルファス領域Raとするサンプルウエハを作成し、このサンプルウエハを用いて温度測定を行なうことにより、正確な温度分布の測定が可能になる。

【0107】(第4の実施形態)次に、低温におけるイオン注入に係る第4の実施形態について説明する。図13(a)～(d)は、それぞれ順に、基板温度が0℃、-10℃、-20℃、-30℃の条件下でヒ素(As)の注入によって形成されたアモルファス領域-結晶領域間の境界の形状を示す断面図である。ヒ素(As)の注入条件は、いずれも加速電圧30keV、ドーズ量 $3.0 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ である。ただし、本実施形態における基板温度は、本発明の方法によって基板温度を直接測定して得られたものではなく、ウエハを載置するためのプラテンの温度である。したがって、ウエハの上面における温度は、この温度よりも数度低くなっているものと思われる。

【0108】図13(a)～(d)からわかるように、多少のばらつきはあるものの、図13の(a)、(b)に示す基板温度0℃、-10℃における注入の場合には両者の界面が明確に現れておらず界面と見える部分の凹凸が大きい。つまり、アモルファス領域と結晶領域との境界が明確でなく、境界付近では両者が互に入り乱れた状態になっているものと思われる。それに対し、基板温度-20℃、-30℃における注入の場合には界面の凹凸が小さくなり界面が明確に現れている。

【0109】なお、室温付近における注入の場合にも、基板温度0℃における注入と同様に、アモルファス領域-結晶領域の境界が明確に現れず、界面と見える部分の凹凸も大きい。

【0110】図14は、低温におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域の回復レートを示す図である。同図において、横軸はアニール時間を縦軸はアモルファス領域の厚みをそれぞれ表している。同図に示すデータは、いずれもヒ素(As)を加速電圧30keV、ドーズ量 $3.0 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入したものである。そして、□印は室温におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域のデータを、○印は基板温度-40℃という低温におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域のデータをそれぞれ示す。同図に示すように、室温におけるイオン注入に

よって形成されたアモルファス領域の回復レートは、アニール時間がある程度経過すると(ここでは、約10sec)一定になるが、初期厚みが直線からはずれてかなり上方にあることから、最初のフラッシュアニールに相当する領域では回復レートが早くなっていると考えられる。それに対し、基板温度-40℃におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域の回復レートは、当初からほぼ一定である。この相違は、以下の理由によるものと考えられる。

【0111】室温におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域の場合、図13(a)に示す基板温度0℃におけると同様に、アモルファス領域-結晶領域間の境界が不明確であり、界面の凹凸が大きいことから、アニールの開始初期には、見かけ上、アモルファス領域の厚みが速やかに減小するものと思われる。特に、初期厚みのデータが直線上の点の値よりも大きく測定されるのは、部分的に結晶状態である領域をも取り込んだ形でアモルファス領域の厚みを測定している可能性がある。そして、再結晶化がある程度進んで両者の境界が明確になり界面の凹凸が小さくなってきた時点(図14においては約10sec経過後)から一定の緩やかな速度で減小していく。

【0112】それに対し、低温におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域の場合、図13(d)に示す基板温度-30℃におけると同様に、アモルファス領域-結晶領域間の境界が明確になり界面の凹凸が小さいことから、アニール当初からほぼ一定の回復レートが得られるものと思われる。なお、回復レート自体は、いずれの場合も約21(nm/min)であり、回復レート自体はヒ素(As)の濃度に依存して一義的に定まることがわかる。

【0113】図15は、図13(a)～(d)に示す注入条件でそれぞれ形成されたアモルファス領域に対する分光エリプソメトリの測定により得られた $\cos \Delta$ の分光スペクトルの一部を示す図である。同図において、横軸は測定光の波長を表し、縦軸は $\cos \Delta$ の値を表している。同図に示すように、基板温度0℃、-10℃でイオン注入されたアモルファス領域からの分光エリプソメトリスペクトルと、基板温度-20℃、-30℃でイオン注入されたアモルファス領域からの分光エリプソメトリスペクトルとは、明確に分離しており、この2つのグループ同士の間で明確な構造の相違があることが推定される。

【0114】図13(a)～(d)、図14、図15のデータを総合すると、基板温度が-10℃よりも低いという低温条件でイオン注入を行なうことにより、アモルファス領域-結晶領域の境界を明確にかつ界面の凹凸を小さくすることができ、これにより、以下の効果が得られる。

【0115】第1の効果として、温度測定の精度及び信

頼性が向上する。それは以下の2つの理由による。まず、温度測定のためには、アモルファス領域のアニールによる回復レートの算出が必要で、回復レートの算出のためにはアモルファス領域の厚みをエリブノメトリ等によって測定する必要がある。その厚み測定の際、例えば図9に示すような49ポイント（温度分布を測定するためのポイントではない）における厚みの差が小さくなる。そして、測定されるアモルファス領域の厚みが再現性よくほぼ一定になることで、各ポイントにおける回復レートの値、つまり温度値が均一になる。したがって、両者の境界を明確にあるいは界面の凹凸を小さくすることで、測定値のばらつきが小さくなり、温度、温度分布の測定の精度及び信頼性が向上する。

【0116】また、図14の実験結果について議論したように、両者の境界が明確でなく界面の凹凸が大きいたく時には、境界が明確になりあるいは界面の凹凸が小さくなるまで初期の回復レートが速く、かつ、ばらつきも大きいと考えられる。これは、種々の実験結果が示唆することである。イオン注入時にアモルファス領域-結晶領域の境界が明確でなく界面の凹凸が大きいと、回復レートの算出の際にアニールの開始直後のデータを除く必要がある。ところが、実際のアニールはRTA、フラッシュアニール（又はスパイクアニールとも呼ばれる）など短時間のアニールで済ませることが多いので、特にインラインで温度測定を行なおうとすると初期の回復レートが重要となる。よって、両者の境界が明確になりあるいは界面の凹凸を小さくするように形成させることで、アニール初期においても回復レートが安定してほぼ一定になる結果、温度の測定値の精度及び信頼性が向上する。

【0117】第2の効果として、実使用に供されるデバイスの製造工程におけるプレアモルファス注入としての利用価値が高くなる。プレアモルファス注入とは、サリサイド工程の前にソース・ドレイン領域の結晶性を乱してアモルファス構造にするため（シリサイド化促進のため）に行なわれるイオン注入や、低濃度のボロンのイオン注入の前にチャネリング防止のために行なわれるイオン注入をいう。以上の界面の平坦性の向上による温度測定精度の向上効果は、他の手段によっても実現することができるが、低温におけるイオン注入により、温度測定精度の向上とは別に以下の効果が得られる。

【0118】例えば、上述のように、アモルファス領域における酸素濃度を臨界値以上に高めることにより、アニール温度と回復レートとの関係が全体として1つの直線になり（図6参照）、図8に示すような回復レートと温度との関係式を確立することができる。しかし、アモルファス領域における酸素濃度を高めることは、温度評価用のウエハに対する悪影響はないが、実使用デバイスに対しては、酸素誘起欠陥（OSF）を引き起こし、デバイスの動作特性を悪化させるという悪影響を及ぼす。したがって、実使用デバイスにおけるプレアモルファス

注入として、酸素イオンを高濃度で注入することは適当でない。

【0119】一方、後述するように、ヒ素イオン等を比較的高いドーズ量（例えば $4 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 程度）で注入することにより、イオン注入によって形成されるアモルファス領域と結晶領域との境界を明確にすることができる。しかし、一般的にはシリサイド化しようとする領域（ソース・ドレイン領域）の表面には、自然酸化膜が存在しているので、高濃度のヒ素イオン等を注入すると、ノックオンにより酸素も当該領域に注入される（図2参照）。その結果、酸素誘起欠陥の発生を確実に抑制するのが困難となる。

【0120】それに対し、低温におけるイオン注入を利用すると、図14に示すように、ドーズ量 $3 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 程度の約1桁低い濃度のヒ素イオン等を注入するだけで、アモルファス領域-結晶領域の境界を明確にあるいは界面の凹凸を小さくすることができる。酸素よりも重い元素を注入する場合、注入量が1桁少なくなると、ノックオンにより注入される酸素の濃度も約1桁少なくなる。第1の実施形態における図2に示す酸素濃度プロファイルからわかるように、ノックオンによる酸素濃度が約10分の1に低減されると、アモルファス領域内の酸素濃度は、もともとシリコン基板内に含まれている酸素濃度（約 $2.0 \times 10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）とほとんど変わらない濃度になる。したがって、この場合にはシリサイド化しようとする領域の上に自然酸化膜が存在していても、ノックオンによる酸素の侵入量を低減できるので、酸素誘起欠陥の発生を確実に抑制することができる。したがって、サリサイド工程の前処理であるプレアモルファス注入として、低温によるヒ素等のイオン注入を行なうことにより、インラインで温度測定を行ないたいときに、酸素誘起欠陥の発生を抑制しつつ温度測定の精度及び信頼性を向上させることができる。

【0121】第3の効果として、プレアモルファス注入として低温におけるイオン注入を採用することにより、アモルファス領域-結晶領域の境界を明確にあるいは界面の凹凸を小さくすることができる結果、後に平坦なシリサイド層を形成することができる。したがって、サリサイド構造を有する拡散層において界面下方のPN接合部で生じる接合リークを抑制する効果が得られる。

【0122】第4の効果として、チャネリング防止用のプレアモルファス注入として用いた場合に、浅い拡散層を再現性よく形成することができる。ボロン等を注入した後、活性化のためのアニールを行なう場合、ボロン等の拡散スピードは、アモルファス領域と結晶領域との境界付近の構造が乱れた付近で速くなることが知られている。両者の境界が不明確で界面の凹凸が大きい場合は、構造の乱れている範囲が広いことを意味するので、その場合には拡散層が広がり、かつロット間のばらつきも大きいことになる。それに対して、低温におけるイオン注

入をプレアモルファス注入として用いることにより、両者の境界を明確にあるいは界面の凹凸を小さくすることができるので、ボロン等のイオン注入の後の活性化による拡散層を浅くかつ再現性よく形成することができる。

【0123】なお、本実施形態においては、イオン種としてAsを注入した例について説明したが、Asに代えてGeを注入しても同様のドーズ量で同様の効果が得られる。Geは原子番号(32)がヒ素(33)に近いからであり、かつ現実注入されるGeはヒ素とほとんど同じ質量を有するGeの同位体 Ge^{73} が多いからである。また、質量がGeよりも大きいIV族元素のイオン注入を利用することもできる。

【0124】(第5の実施形態)次に、Ge等のIV族元素のイオン注入に関する第5の実施形態について説明する。IV族元素とは、C、Si、Ge、Sn、Pb等の元素をいう。

【0125】図16は、IV族元素としてGeを加速電圧30keV、ドーズ量 $4 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ でシリコン基板内に注入して形成されるアモルファス領域とその下方の結晶領域との境界付近の構造を示すTEM写真である。同図に示されるように、Geのイオン注入によって形成されるアモルファス領域と結晶領域との境界が明確になり界面の凹凸も小さくなっている。この効果は、室温におけるGeのイオン注入の場合には、ドーズ量が $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上の場合に確実に得られることが確認されている。

【0126】したがって、本実施形態においても、上記第4の実施形態において述べた第1～第4の効果を発揮することができる。加えて、GeはIV族元素であり、シリコン中に注入しても導電型としては中性である、つまり、N型拡散層に注入してもP型拡散層に注入しても、デバイスの動作に影響を与えるわけではない。したがって、実使用のCMOSデバイスの製造工程におけるプレアモルファス注入として利用することができる。

【0127】なお、イオン種としては、Geに限らずC、Si、Sn、Pb等の元素を用いることができるが、質量の小さい元素の場合ドーズ量を高めないと結晶領域との境界が明確なアモルファス領域を形成することが困難となる。したがって、Ge又はGeよりも質量の大きいIV族元素を用いることが好ましい。

【0128】また、IV族元素を用いる代わりにヒ素(As)、リン(P)、ハロゲン元素、不活性ガス元素等のイオン注入を用いても、同じ効果を発揮することができる。その場合、Geを用いるときに必要な腐食性ガスであるイオン種 GeF_4 を用いなくて済むという利点がある。

【0129】(第6の実施形態)次に、イオン注入後における低温アニールに係る第6の実施形態について説明する。

【0130】上記第4の実施形態において説明したよう

に、低濃度のイオン注入によって形成されたアモルファス領域と結晶領域との境界は明確に現れていないが、かかる場合にも低温アニール(300～450℃)を施すことにより、両者の境界を明確にあるいは界面の凹凸を小さくすることができる。

【0131】本実施形態においては、当初明確に現れていない境界が徐々に明確になり、アモルファス領域と結晶領域との境界が明確になるまであるいは界面の凹凸が小さくなるまで回復が進行するが、それ以上回復は進行しないことが確認された。したがって、このようにアモルファス領域と結晶領域との境界が明確にあるいは界面の凹凸が小さくされたウエハを温度特定用ウエハとして準備しておくことにより、アニール温度と回復量との関係を当初からほぼ1つの直線にすることができるので、温度測定精度の向上を図ることができる。

【0132】また、本実施形態によって形成されたアモルファス領域を用いて、シリサイド化工程を行なうことにより、平坦化されたシリサイド層を形成することもできる。

【0133】(第7の実施形態)次に、上記各実施形態を利用したシリサイド化工程に係る第7の実施形態について説明する。

【0134】本実施形態においては、まず、上記各実施形態のいずれかを利用して、アモルファス領域と結晶領域との境界が明確にされ、かつ両者の界面の凹凸が小さい半導体領域を有するウエハを形成する。そして、基板上にリフラクトリ金属膜(例えばチタン膜、コバルト膜、ニッケル膜など)を堆積する。そして、基板の上面にレーザを照射してレーザアニールを行なう。このとき、リフラクトリ金属膜とアモルファス領域との反応が進行して、シリサイド層が形成される。

【0135】図17は、本実施形態において形成したウエハのN型、P型拡散層の上に形成されたチタンシリサイド層の反射率スペクトルを示す図である。ここで、このチタンシリサイド層は450℃以下の温度でレーザアニールを施して形成されたものである。同図において、横軸は測定光の波長(nm)を表し、縦軸は反射率を表している。また、PDとは高濃度のP型拡散層(ソース・ドレイン領域)を、NDとは高濃度のN型拡散層を示す。同図に示されるように、両者からの反射率は広い範囲に亘ってほぼ一致していることから、チタンシリサイド層の平坦性が良好であるものと推定される。

【0136】したがって、本実施形態では、予めアモルファス領域と結晶領域との境界が明確になり界面の凹凸が小さい半導体領域を有するウエハを用いてシリサイド化を行なっている。ここで、レーザアニールによってシリサイド化を行なう際には、融点の低いアモルファス領域のみが溶融するがその下方の結晶領域は溶融しない。したがって、アモルファス領域のみを確実に選択的にシリサイド化することができ、平坦性のよいシリサイド層

を形成することができる。そして、シリサイド層の平坦性がよいことで、アグロメレーションの発生を抑制でき、接合リークの抑制を図ることができる。

【0137】(その他の実施形態)上記いずれかの実施形態のイオン注入を利用して温度測定を行なう場合、ウエハの両面からイオン注入を行なって、ウエハの上面だけでなく裏面にもアモルファス領域を形成することにより、1つのサンプルで2回の温度測定を行なうことができる。アニール工程をウエハの上面にレーザを照射することによって行なう場合、上面側のアモルファス領域のみが回復し、裏面側のアモルファス領域が回復しない条件でアニールを行なって回復レートを求めることで、第1回目の温度測定を行なうことができる。しかし、裏面側のアモルファス領域はまだ回復していないので、別の温度範囲(特に高い温度範囲)におけるアニールを行なって温度を求めることができる。ウエハが大口径になってウエハ厚みが厚くなっている場合には、裏面側のアモルファス領域の温度が上面側のアモルファス領域の温度に比べてかなり低いまであることもありうる。かかる場合には、上面側のアモルファス領域と下面側のアモルファス領域とが同じイオン注入条件と同じイオン種により形成されたものであっても、上面側のアモルファス領域だけが回復し、裏面側のアモルファス領域は回復していないことも十分起こりうる。したがって、最初にレーザアニールにより温度測定を行なって、上面側のアモルファス領域が回復したウエハを裏返し、上方を向いている裏面にレーザを照射してアニールを行なって、次の温度測定を行なってもよい。

【0138】上記いずれかの実施形態のイオン注入を利用して温度測定を行なう場合、ウエハの両面からイオン注入を行なって、ウエハの上面だけでなく裏面にもアモルファス領域を形成することにより、ウエハの熱伝導率を求めることができる。つまり、アニール工程をウエハの上面にレーザを照射することによって行なう場合、上面側のアモルファス領域と裏面側のアモルファス領域との回復レートを求めることで、上面付近の領域と裏面付近の領域との温度差を検出することができる。したがって、例えばフラッシュアニールを行なう場合、この温度差と温度変化の時間変化とからウエハの熱伝導率がわかる。これにより、各種工程における温度管理を厳密に行なうことが可能となる。特に、ウエハの大口径化によってウエハ厚みも増大するが、そのときにウエハ厚みと上面-裏面間の温度差との関係なども把握できるので、製造歩留まりの向上と品質の高い半導体装置の製造とを図ることができる。

【0139】上記各実施形態の温度測定方法は、温度測定用のサンプルウエハを利用して行なってもよいし、ウエハ内にモニター領域を設けて行なってもよいし、実際に製品デバイスを形成するためのウエハを用いて行なってもよい。

【0140】また、上記各実施形態における温度測定方法を、磁氣的、光学的、電氣的特性を利用した記録媒体に記憶させておき、この記録媒体を用いて、半導体装置の製造工程に用いることができる。

【0141】

【発明の効果】本発明によると、装置内部の実際の温度、温度分布を正確に測定することができる温度測定方法や、温度、温度分布の正確な測定に供しうる温度測定用サンプルの作成、浅い拡散層、平坦性のよいシリサイド層の形成を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】アモルファス領域を550℃でアニールした時のアモルファス領域の厚みの時間変化つまり回復レートを示す図である。

【図2】as-implantedのシリコン基板におけるヒ素(As)と酸素(O)との基板深さ方向における濃度プロファイルを示す図である。

【図3】アモルファス領域への酸素の注入量を複数種類に変えて回復レートを測定した結果を示す図である。

【図4】(a)~(d)は、本発明の第1の実施形態における温度測定のためのアニール処理の手順を示す断面図である。

【図5】本発明の第1の実施形態におけるアニール及び温度測定の手順を示すフローチャート図である。

【図6】第1の実施形態におけるアモルファス領域の結晶への回復レートを示す図である。

【図7】第1の実施形態におけるアニール温度と回復レートとの関係から温度を決定する手順を示すフローチャート図である。

【図8】文献に記載されている回復レートとアニール温度Tとの関係を示すデータに、高濃度の酸素が導入されたシリコン基板における回復レートとアニール温度Tとの関係を加えて示す図である。

【図9】本発明の第3の実施形態におけるAsのみを注入した場合とAs及びBを注入した場合における回復レートを比較したデータを示す図である。

【図10】第3の実施形態におけるGe注入によって形成されたアモルファス領域と、As注入によって形成されたアモルファス領域との回復レートの差を示す図である。

【図11】(a)、(b)は、第3の実施形態における互いに異なる回復レートを有する4つのアモルファス領域を有する評価用サンプルウエハを形成する2つ方法を示す平面図である。

【図12】図11に示す評価用サンプルウエハを用いた場合の各アモルファス領域の温度測定可能範囲を示す図である。

【図13】(a)~(d)は、それぞれ順に、基板温度0℃、-10℃、-20℃、-30℃におけるヒ素(As)の注入によって形成されたアモルファス領域-結晶

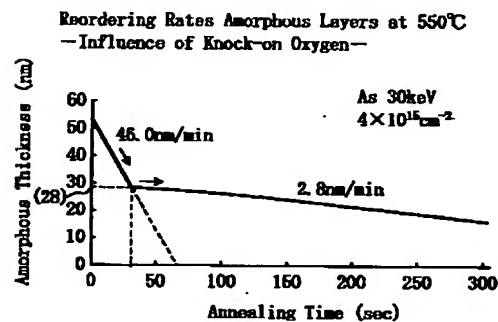
領域間の界面の形状を示す断面図である。

【図14】低温におけるイオン注入によって形成されたアモルファス領域の回復レートを示す図である。

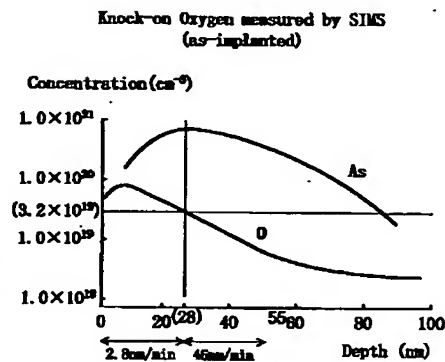
【図15】図13(a)～(d)に示す注入条件でそれぞれ形成されたアモルファス領域に対する分光エリブソメトリの測定により得られた $\cos \Delta$ の分光スペクトルの一部を示す図である。

【図16】第5の実施形態におけるIV族元素としてGeを注入して形成されるアモルファス領域とその下方の結晶領域との境界付近の構造を示すTEM写真図である。

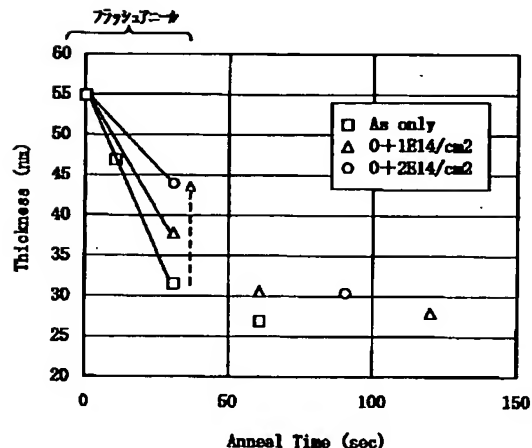
【図1】



【図2】

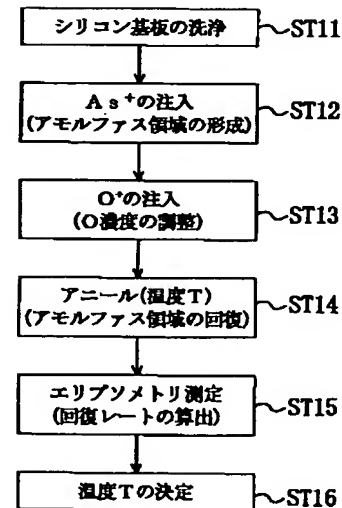


【図3】

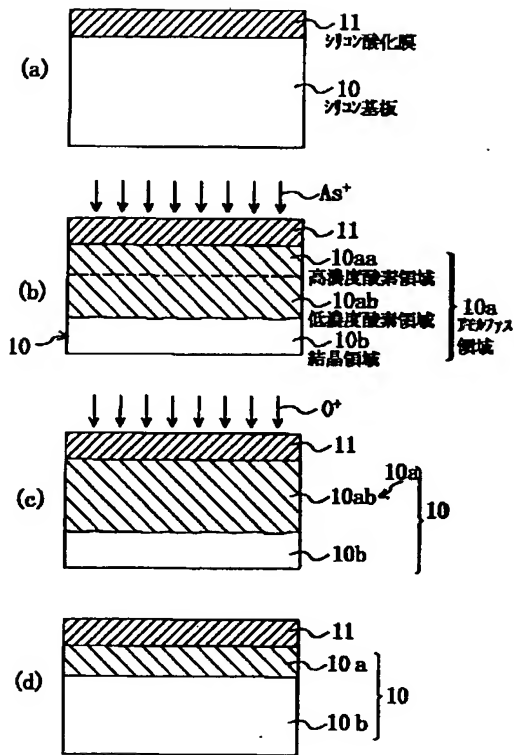


【図5】

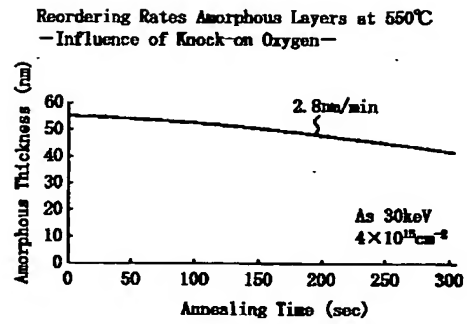
As 30keV $4 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$
O 20keV $1 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$
 $2 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$



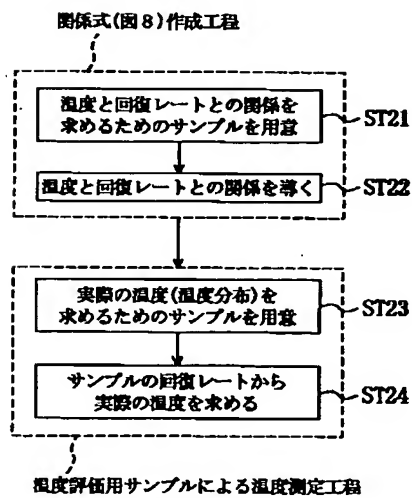
【図4】



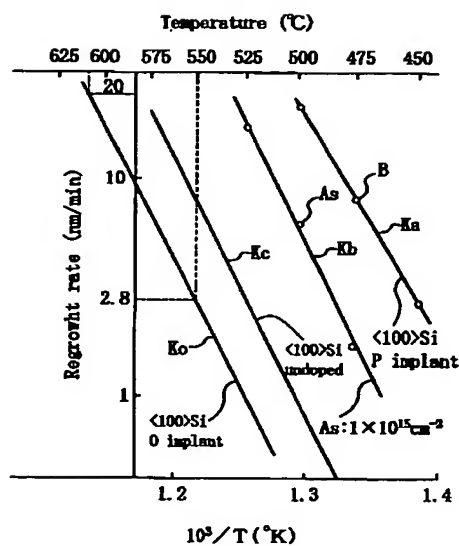
【図6】



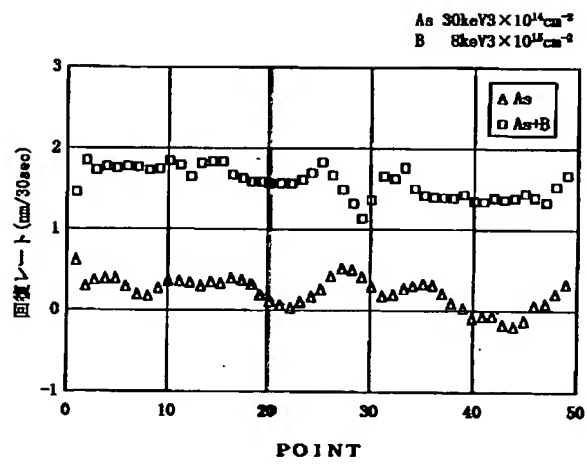
【図7】



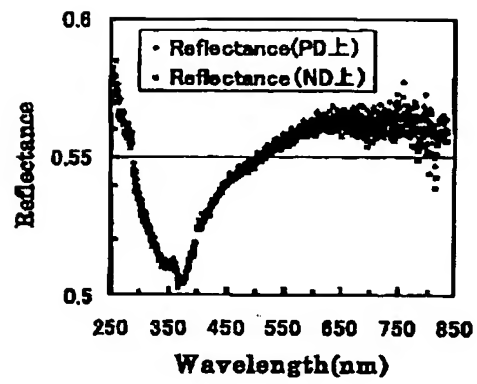
【図8】



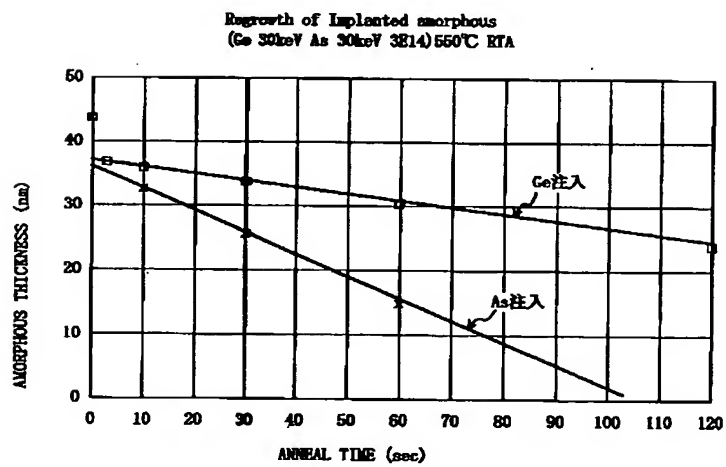
【図9】



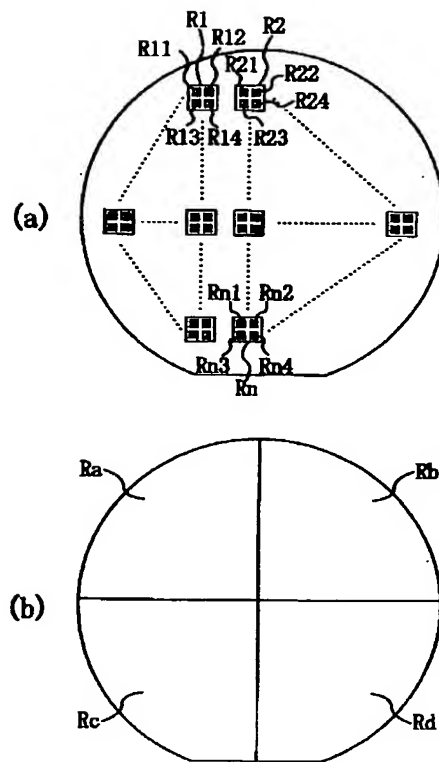
【図17】



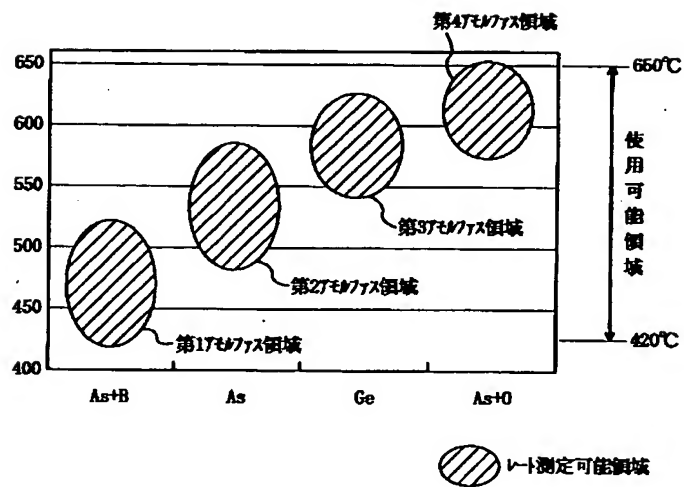
【図10】



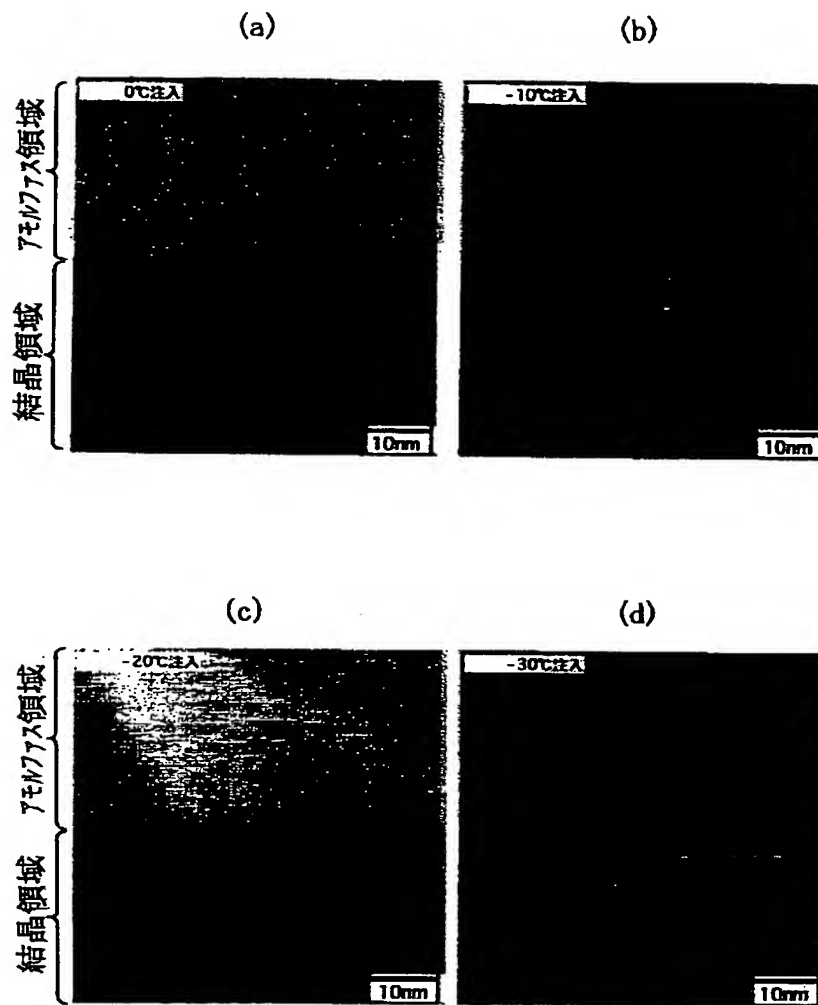
【図11】



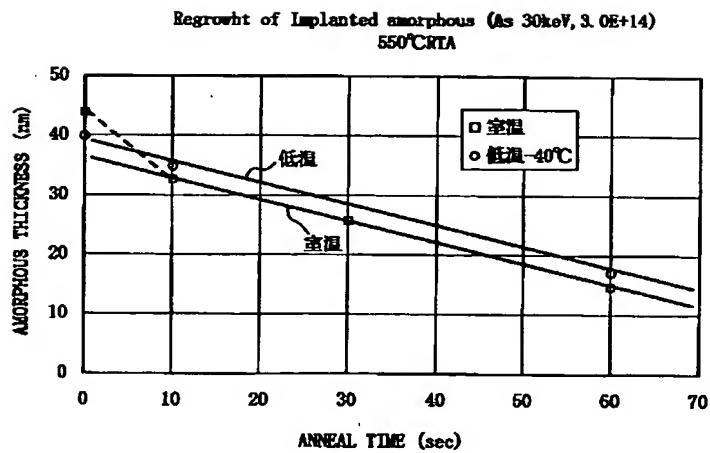
【図12】



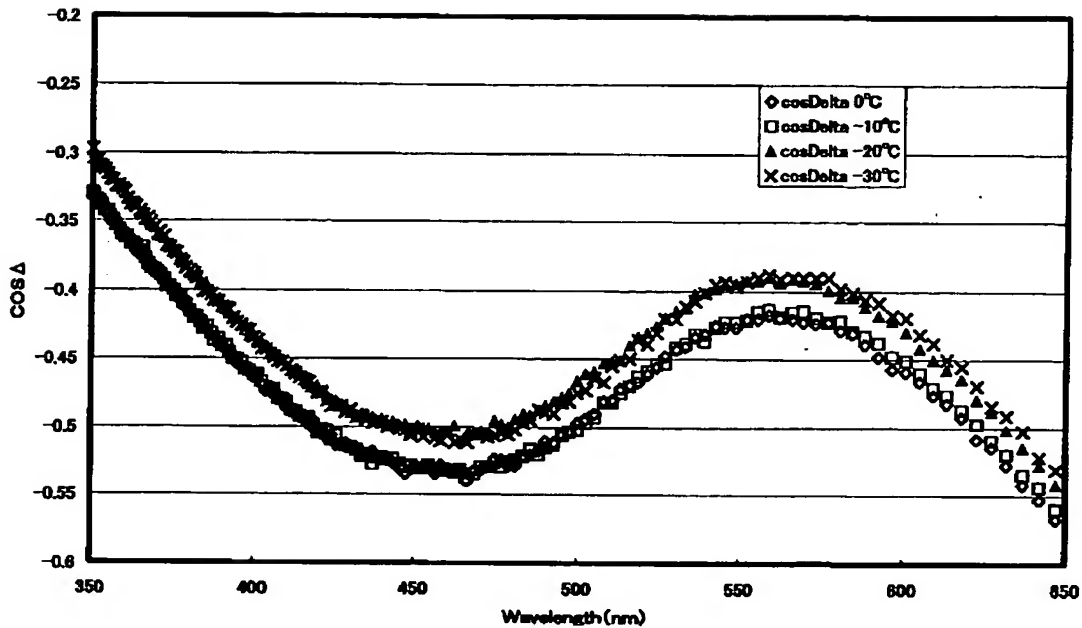
【図13】



【図14】



【図15】



【図16】



【手続補正書】

【提出日】平成12年2月9日(2000. 2. 9)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項12

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項12】 請求項10又は11記載の温度測定方法において、

上記基板はウェハ状態のものであり、

上記ステップ(a)は、上記複数の箇所が平面的にみてウェハを上下左右4つに区画された領域となっているサンプルを用いて行なわれることを特徴とする温度測定方

法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項26

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項26】 請求項24又は25記載の温度測定用サンプルの作成方法において、

上記基板はウエハ状態のものであり、

上記複数の箇所は平面的にみてウエハを上下左右4つに区画された領域となっていることを特徴とする温度測定方法。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】上記基板をウエハ状態のものとして、上記ステップ(a)を、上記複数の箇所が平面的にみてウエハを上下左右4つに区画された領域となっているサンプルを用いて行なうことにより、ある工程における温度が不明の時に、4つの箇所における回復レートのデータから明らかになった温度の付近について、その後、ウエハ全体に1種のイオン注入のみを行なって詳細な温度分布などの測定を行なうことが可能となる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

【0048】また、上記基板をウエハ状態のものとして、上記複数の箇所を平面的にみてウエハを上下左右4つに区画された領域とすることができる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0100

【補正方法】変更

【補正内容】

【0100】図9は、ヒ素(As)のみを注入した場合とヒ素(As)及びボロン(B)を注入した場合とにおける回復レートを比較したデータを示す図である。同図の横軸は、ウエハ内の測定箇所(49ポイント)を表し、縦軸はアモルファス領域の回復レートを表している。サンプルウエハとして、ヒ素(As)を加速電圧30keV、ドーズ量 $3 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入してアモルファス領域を形成したもの(図中△で示すデータ)と、ヒ素(As)を加速電圧30keV、ドーズ量 $3 \times 10^{14} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入してアモルファス領域を形成した後、さらに、当該アモルファス領域にボロン(B)を加速電圧8keV、ドーズ量 $3 \times$

$10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ の条件で注入したもの(図中□で示すデータ)とを準備して、回復レートを測定している。酸素のイオン注入は行っていない。このデータから、以下のことがわかる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0103

【補正方法】変更

【補正内容】

【0103】図11(a)、(b)は、互いに異なる回復レートを有する4つのアモルファス領域を有する評価用サンプルウエハを形成する2つ方法を示す平面図である。1つの方法の場合、図11(a)に示すように、ウエハ内にはn箇所の温度測定用領域R1、R2、…、Rnが設けられており、各温度測定用領域R1、R2、…、Rnには、図9に示す□印のデータに対応するヒ素(As)とボロン(B)とを注入した第1アモルファス領域R11、R21、…、Rn1と、図9に示す△印のデータに対応するヒ素(As)のみを注入した第2アモルファス領域R12、R22、…、Rn2と、図10において説明したゲルマニウム(Ge)をドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ で注入した第3アモルファス領域R13、R23、…、Rn3と、第1の実施形態において説明したヒ素(As)及び臨界値以上の濃度の酸素(O)を注入した第4アモルファス領域R14、R24、…、Rn4とが設けられている。もう1つの方法では、図11(b)に示すように、ウエハが4分割されて、図9に示す□印のデータに対応するヒ素(As)とボロン(B)とを注入した第1アモルファス領域Raと、図9に示す△印のデータに対応するヒ素(As)のみを注入した第2アモルファス領域Rbと、図10において説明したゲルマニウム(Ge)をドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-2}$ で注入した第3アモルファス領域Rcと、第1の実施形態において説明したヒ素(As)及び臨界値以上の濃度の酸素(O)を注入した第4アモルファス領域Rdとが設けられている。

【手続補正7】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更

【補正内容】

【図4】

